宇宙航空の最新情報マガジン

JAXA's

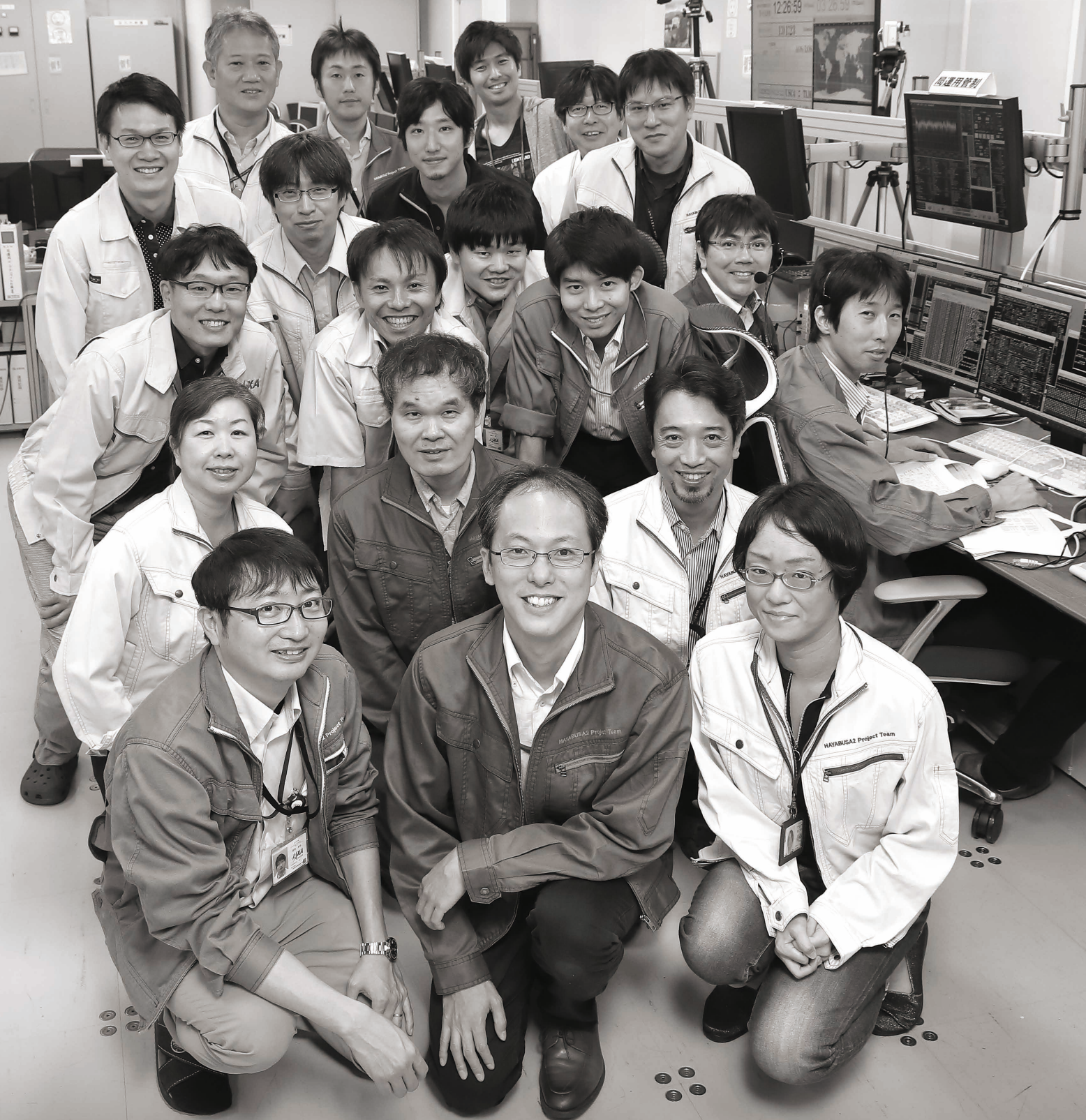
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
機関誌
［ジャクサス］
No.071
January 2018

はやぶさ2 深宇宙へ

宇宙航空の最新情報マガジン

JAXA's CONTENTS

[ジャクサス] 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌

No.071 January 2018

Cover Photo：地球の重力圏外の太陽系天体から表面の物質サンプルを採取し持ち帰るという、世界初の偉業をなしとげた「はやぶさ」。いま、その後継機「はやぶさ2」は、太陽系誕生と生命誕生の秘密に迫るため、目的地の小惑星「リュウグウ」へ向けて深宇宙の旅をつづけています。その孤独な旅を日々支えているのが、津田雄一プロジェクトマネージャ率いるプロジェクトチームのスタッフたちです。「はやぶさ2」の現状や今後のミッションについては今号P6-7をご覧ください。

3 新春特別対談
イノベーションを創出し、国の期待に応える
国立研究開発法人はどのようなことに取り組んでいるのか
奥村 直樹　国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 理事長
中鉢 良治　国立研究開発法人 産業技術総合研究所 理事長
聞き手 庄司 義和　広報部長

6 小惑星リュウグウへ、小惑星探査機「はやぶさ2」の挑戦はつづく
津田 雄一　宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系准教授 はやぶさ2プロジェクトマネージャ

8 ISSと地上をつなぐ
金井ミッションを支える運用管制チーム
有人宇宙技術部門 宇宙飛行士・運用管制ユニット
佐孝 大地　研究開発員 JAXAフライトディレクタ（J-FLIGHT）
中村 大地　研究開発員 JAXAフライトディレクタ（J-FLIGHT）
神吉 誠志　主任研究開発員
関川 知里　研究開発員

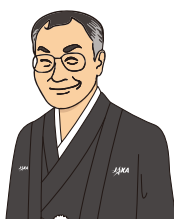
10 日本の独自技術でピンポイントの月着陸を実現する
小型月着陸実証機「SLIM」の開発に迫る
坂井 真一郎　宇宙科学研究所 SLIMプロジェクトマネージャ 宇宙機応用工学研究系准教授

12 ISS計画のその先へ、月・惑星探査に向けた日本独自の技術ECLSS
伊藤 剛　有人宇宙技術部門 有人宇宙技術センター 技術領域主幹

14 SDGs達成に向けてJAXAが果たす役割とは
沖 大幹　国際連合大学 上級副学長　国際連合 事務次長補
聞き手 小野田 勝美　調査国際部 国際課 主任

16 塗料で空気抵抗を減らしたい FINEの挑戦
〈表面摩擦抵抗低減コーティング技術の飛行実証〉
栗田 充　航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 航空機システム研究チーム 主任研究開発員

18 [宇宙を職場にする]
宇宙環境をきれいにするために
“アストロスケール×JAXA”によるスペースデブリ除去への挑戦
クリス・ブラッカビー　株式会社アストロスケール COO

20 [研究開発の現場から]
ロケットエンジンが作れなくなる？
危機を救ったターボポンプ用軸受の開発
高田 仁志　研究開発部門 第四研究ユニット 研究領域主幹
小島 淳　研究開発部門 第四研究ユニット 主任研究開発員
角銅 洋実　研究開発部門 第四研究ユニット 研究開発員

新年おめでとうございます、JAXA's発行責任者の庄司義和です。

今号巻頭は年頭恒例の新春対談、お相手は産業技術総合研究所の中鉢良治理事長です。イノベーション創出に向けた、両理事長のエネルギー溢れる対談を、ぜひご一読ください。

今年もJAXAは計画盛りだくさんです。小惑星探査機「はやぶさ2」のリュウグウ到着、欧州宇宙機関との共同による水星探査機打ち上げをはじめ、引き続きさまざまな研究開発やプロジェクトに挑戦してまいります。

2018年もJAXAをよろしくお願いいたします。

発行責任者
JAXA
(国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構)
広報部長　庄司 義和

JAXA's編集委員会
委員長　庄司 義和
委員　青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー　的川 泰宣

編集制作
株式会社ビー・シー・シー
2018年1月1日発行

国立研究開発法人には我が国全体としての研究開発成果の最大化が求められており、さらに技術を先導して国際競争を勝ち抜く国力を培うこと、研究開発成果の創出、普及、活用を促進することにより国家的・社会的課題の解決へ貢献することも求められています。
このような共通の使命を持った組織として、イノベーション創出に向けてどのような取り組みをしているか、産業技術総合研究所の中鉢良治理事長と、JAXAの奥村直樹理事長が対談しました。

聞き手
庄司 義和（しょうじ よしかず）　広報部長

文：寺門 和夫（科学ジャーナリスト）

イノベーション創出に必要な人材とは

──まず、イノベーション創出に向けた取り組みについて伺います。産総研ではどのようなことに力を入れているのでしょうか。

中鉢　「社会の中で社会のために」というのが産総研のスローガンです。産業と社会で役に立つ技術を提供していくことがわれわれの最大の使命だと思っています。そのためには、アカデミアの科学の成果をいち早く取り入れて、産業界のニーズに橋渡しをしなければなりません。しかし、研究者が優れた成果を出

新春特別対談

奥村 直樹（おくむら なおき）
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長

×

中鉢 良治（ちゅうばち りょうじ）
国立研究開発法人
産業技術総合研究所
理事長

イノベーションを創出し、国の期待に応える

国立研究開発法人はどのようなことに取り組んでいるのか

しても、それをすぐに産業に結び付けられるわけではありません。現在は研究する力に加えて、多様な領域と連携し骨太なものに仕上げていく能力も求められています。すなわち、偉大な発明者だけでなく、偉大な連携者もイノベーション創出の非常に重要な担い手だと考えています。

——JAXAの取り組みはいかがでしょうか。

奥村　今のご意見に100％賛成です。われわれも似たような動きをしています。例えば、これまで宇宙と関係ない企業の皆さんにも入っていただくオープンイノベーションハブを作って活動しています。宇宙の専門家だけではなかなか発想が広がらない。ですからコーディネーターのような人材はものすごく大事です。

中鉢　産総研は連携を業務とするイノベーションコーディネータという専門家集団を持っています。全国で約180名の人が活動しています。研究に従事してきた人もいますし、企業出身の人もいます。各自治体の公設試験所の人たちにも兼務していただいて、産総研の成果を産業界に橋渡しする活動を推進しています。それから国立の研究機関ともいろいろ連携を進めています。もちろんJAXAとも人工知能を用いた月面データの解析、国際宇宙ステーション「きぼう」でのタンパク質生成実験などの研究を協力して進めています。

奥村　世の中の変化も大きくなって、価値観が多様化しています。自分が良い研究をすれば、それがすぐに世の中に普及するという時代ではありません。その研究を積極的に売り込むという姿勢がないと新しい価値を生み出すことはできません。こうした発想をもつことが、国立研究開発法人に求められていると思っています。

連携が鍵になる

——連携というキーワードが出てきました。産総研の産学官の連携の取り組みについて伺います。

中鉢　大学との連携に関しては、大学の

キャンパス内に産総研の連携研究室(オープンイノベーションラボラトリ)の設置を進めています。現在7つの大学にこのラボラトリがあります。例えば名古屋大学では、天野浩先生の指導を受けながら窒化ガリウム応用技術について研究をしています。各大学のコアコンピタンスとなる研究とわれわれの産業化技術を融合させて、新技術を産業界に橋渡ししていこうというわけです。一方、産業界とは、産総研の敷地内に企業名を冠したラボ(冠ラボ)を設置し、産総研の研究者と一緒に研究するコラボレーションを、8社と行っています。現在、産総研の産学官連携の共同研究は3300件あまりあり、そのうちの半分は産業界、半分はアカデミアという感じです。

奥村　われわれもいろいろ産学官連携をやっていますが、ここで少し違う形の取り組みについてお話ししたいと思います。JAXAのコーポレートスローガンは“Explore to realize”です。exploreは探求、realizeは形にするということです。realizeのためには研究機関同士の連携はもちろんですが、行政機関との連携も必要になります。一つの例を申し上げると、今CO_2の排出問題がホットトピックスになっていますが、パリ協定では各国が年間どれだけCO_2を排出しているかを報告しなければなりません。しかし、それをチェックするうまい方法を作る必要があります。私たちは温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)で、宇宙からCO_2の排出量を観測できる技術を開発しました。そこで、この技術をぜひ役立ててほしいと考えているわけです。そうすると研究だけではだめで、行政と連携しないといけない。先日ボンで開かれたCOP23で、中川環境大臣は日本が新しいCO_2観測衛星(GOSAT-2)を打ち上げると発表しました。そういうふうに、研究を形にするために行政側とも連携しようという動きもしています。

中鉢　研究者だけのコミュニティでは社会のニーズに応えられませんから、その視点は重要です。産総研は文系大学である一橋大学とも連携をスタートさせました。例えば環境保全をするにしても、社会的な合意形成が必要だからです。日本にはコアな技術が民間企業にたくさんあるのです。それをいかに統合するかが、最終的に勝負になるのではないでしょうか。

奥村　連携がうまくいくために大事なのは、それぞれの持っている技術の詳細を理解することではなく、インテグレートしたらどんな新しい価値が出るのかを共有することです。この新しい価値はお互いのドメインに必ずしも属さないものですから、価値感を共有できるパートナーを探すのは決して楽ではありません。しかし、そこが重要だと私は思っています。どんなものができるのかというところで共鳴できる人を育てるのも、われわれ国立研究開発法人の仕事ではないかと思っています。

社会的課題の解決にも貢献

——次に、国連の持続可能な開発目標(SDGs)なども踏まえ、社会的課題の解決への貢献に向けた取り組みについて伺いたいと思います。

中鉢　私たちは産業界のニーズに応え、社会的・経済的効果を最大化する役目があります。社会と科学技術は相互依存的な関係にあるわけですが、最大の課題は社会の持続可能性が担保されているという確信が持てないことでしょう。国連で、持続可能な開発目標(SDGs)が採択され、国際的な枠組みの中で持続可能な社会を実現するための取り組みが進められることは、大変意味のあることだと思います。

　現状を見ると単独の機関では社会的なニーズに十分応えきれていないところがあります。しかし、例えば27の国研を一体としてそれぞれの開発目標ごとに見ていくと、かなり骨太の貢献ができるのではないかということがわかります。そこで、国立研究開発法人協議会の連携協力分科会でも連携に組織的に取り組むことを提案しました。

奥村　先ほども触れたJAXAのコーポレートスローガンの realize は、必ずしも経済活動だけではなく、社会課題の解決に貢献したいという趣旨でもあります。「だいち2号」というレーダーを使った地球観測衛星を使って、私たちは熱帯雨林の違法伐採を監視するシステムを作りました。これを realize するために JICA の力を借り、赤道直下のほとんどの国にこのシステムを導入しつつあります。われわれが発信源になって問題を提起し、いろいろな機関に力になってもらえる課題はたくさんあると私は思っています。

中鉢　産総研もJAXAのデータを利用させていただいています。例えば、地球全表面の画像から、AI技術を使っていろいろな変化をリアルタイムにキャッチするというような研究をやっています。砂漠化などの環境変化とか、太陽光パネルによる発電量の計算とかにも、JAXAの情報を有効活用しています。

奥村　ありがとうございます。そういうふうに、われわれの活動が社会インフラになっていくことがわれわれの一つの目標なのです。われわれの地球観測衛星のデータは、これまで防災に役立ってきましたが、平成29年度の国の防災基本計画の修正で、人工衛星が情報の手段に認定され、一段とステップアップしました。SDGsに宇宙がどのように貢献できるか、いろいろな取り組みをしているところです。

働き方の改革も必要

── そのような活動をするためにも、職員の働き方改革も必要と思われます。どのような取り組みをなさっているか、伺いたいと思います。

中鉢　予算が増えていない中で連携などの活動を進めていくと、必然的に業務量が増えます。そのため今、業務改革を進めています。効率を上げて生産性を高めていこうというのが一つ。それからもう一つは研究職として、あるいは事務職としてのキャリアの選択です。産総研は研究をする場所ですが、もう一方で働きの場なのだから、もう少し楽しい、そして生きがいのある職場にしようではないかという取り組みも進めています。

奥村　JAXAでも「ワーク・ライフ変革推進室」をつくり、女性の活躍の推進と職員の働き方の変革を積極的に進めていく態勢をとっています。宇宙航空という分野のせいかもしれませんが、JAXAでは女性の比率が低い。女性職員をもっと増やしたいと思っていますし、それに伴って女性管理職の比率も増やしたいと思っています。女性の働く環境を整えないといけないということで、保育園も持っています。職員の処遇もふくめ、いろいろな角度から職場の改善をやっているところです。

中鉢　大事なポイントですね。

未来のために
一歩も二歩も先を行く

── 未来社会に向けて国立研究開発法人として、我々は何をすべきでしょうか。

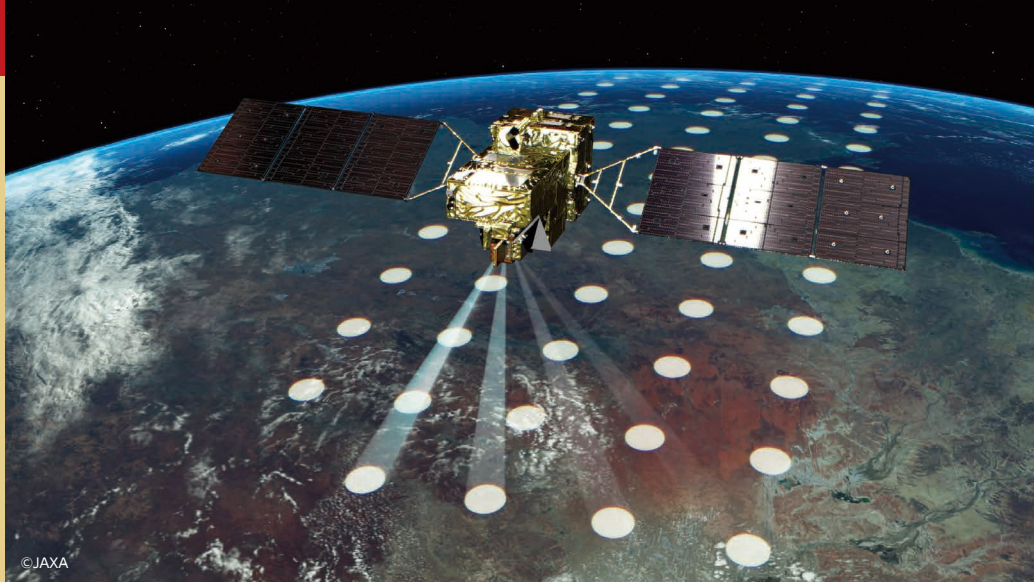
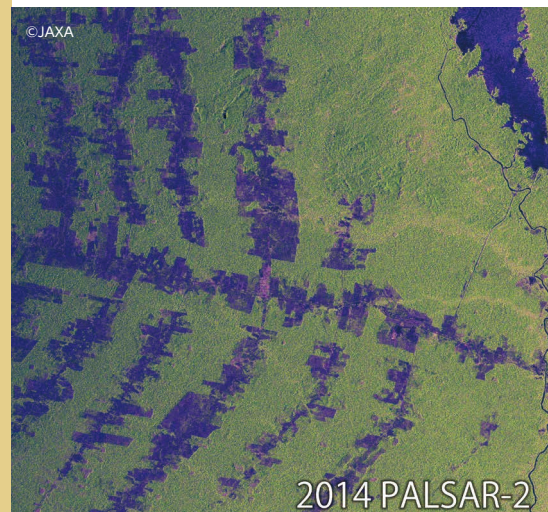
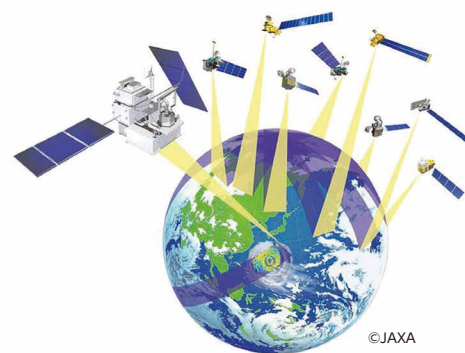
中鉢　国研は民間でやれないところを先導的にやっていく必要があると思います。未来の技術に手を付けても、すぐには経済的な効果を生みません。現在の黒字を求めていこうとすると、産業界の役には立つけれども、未来の社会に役立つという期待には応えられない。国の研究機関が共通の課題として取り組んでいくことが大事だろうと思います。

　最初は研究所主導、それから官民の連携があって、最終的に民主導に移っていくというプロセスの中で、われわれは一歩も二歩も先を行かなくてはいけない。そこで、何をすべきかが、とても大事になってきます。私は、それはcommon good（共通善）だろうと思っています。使命と言っても、目標と言ってもいい。われわれが生きている間にリターンはないかもしれないが、質の高い持続可能な社会の実現を未来の社会に残すべきだと思います。

　これは私の個人的意見ですけれども、資源を使い、圧倒的なイノベーションを実現したいわゆる伝統的な産業革命は、現在では立ちいかなくなってきていると思います。資源は枯渇し、技術はリスクのある社会を生み、資本は格差を拡大してしまった。ですから別の考え方、別の価値観がなければいけないと思うのです。これまではスピードで競ってきた自動車メーカーが今度は環境で競うというような新しい価値観です。未来の社会をもっと夢のある快適なものにしていく、それが実感できるような技術が求められているのではないかという感じがします。

奥村　全くその通りで、人よりも先にやるというのがまず国研の役割です。最初の火付け役というのは国研がやらないと、役割を果たしたことにならない。成熟してくれば、それは企業が物にしたり、あるいは政府が汎用化してインフラ化したりして、われわれ自身はその件に関してはフェードアウトしていく。そしてまた違う課題に対してチャレンジしていく。そういう繰り返しでわれわれの活動は国民に理解されていくのだと思っています。

中鉢　そこを取り残しておいて、今の産業界のニーズに応えるというだけでは、国研の役割を果たしたことにはならないと思います。未来の社会に貢献する立場であるという自覚を持ち、互いに広く連携して、新しい価値を生み出していきましょう。

奥村　それこそが国立研究開発法人の使命です。お互い密に連携して、未来に向かって先導役としての役割を果たしていきましょう。本日はありがとうございました。

2018年に打ち上げを予定している、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき2号(GOSAT-2)」の軌道上での観測イメージCG。

2014年に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち2号(ALOS-2)」が観測したアマゾン川流域の森林伐採の様子。紫部分が非森林域。

日米を中心にした国際協力によって進められている全球降水観測計画(GPM)イメージ図。GPM主衛星と複数のコンステレーション衛星群が観測した降雨のデータにより作成される衛星全球降水マップ(GSMaP)は、洪水の予測など災害予防をはじめさまざまな分野での活用が期待されている。

津田 雄一（つだ ゆういち）
宇宙科学研究所
宇宙飛翔工学研究系准教授
はやぶさ2プロジェクトマネージャ

小惑星リュウグウへ、小惑星探査機「はやぶさ2」の挑戦はつづく

「はやぶさ2」は2014年12月3日に打ち上げられました。1年後の2015年12月3日に「はやぶさ2」の軌道を大きく曲げ、加速する地球スイングバイを行い、現在は目的地である小惑星リュウグウに向かう軌道にあります。「はやぶさ2」はいつ頃リュウグウに到着し、そこで何を行うのか、津田雄一はやぶさ2プロジェクトマネージャに聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

「地球の裏側のテントウムシを狙う」高精度のナビゲーション技術

──「はやぶさ2」は目的地である小惑星リュウグウにいつ到着しますか?

津田　「はやぶさ2」はリュウグウに到着するまでに3回、イオンエンジンを長い期間噴射します。すでに第1期、第2期の噴射が終わり、第3期の噴射を2017年12月か2018年1月に開始します。約6カ月噴き続け、リュウグウには2018年7月か8月に到着する予定です。

──地球スイングバイは非常に高い精度で行うことができたようですね。

津田　将来の探査のために技術を磨くという目的に加え、地球帰還の時にもこの方法を使うので、その練習という意味もあり、できるだけ高い精度でスイングバイさせることにしました。狙ったポイントにどれだけの精度で当てたかという「誘導」についていうと、5000万km以上彼方から地球上空の1点、直径200〜300mの領域を狙いました。地球の裏側のテントウムシに当てるくらいの精度です。また、「はやぶさ2」では探査機の位置を測るナビゲーションにDelta-DORという新しい方式を使っています。今までの10倍以上の精度で「はやぶさ2」が太陽系のどこを飛んでいるかを測ることができます。地球スイングバイの際にこのDelta-DORが能力を発揮し、東京から富士山の頂上にいるノミを識別できるくらいの精度が得られました。

──イオンエンジンは順調ですか。

津田　4台のイオンエンジンすべてが非常に順調です。「はやぶさ」の時は未経験の技術だったので、イオンエンジンを安定的に動かすまでに3カ月くらいかかりましたが、「はやぶさ2」では1カ月ですみました。「はやぶさ」の経験が生きています。

太陽の光の力を使った姿勢制御方式も導入

──イオンエンジンの運転以外にはどんなテストをしていますか。

津田　リュウグウに到着した後に必要な観測機器のチェックやデータ較正(こうせい)をし、期待通りの性能を確認しています。それから、私たちの腕を磨くために技術的なテストもたくさんやっています。その一つは「はやぶさ2」に新しく搭載したKaバンド通信系です。高速のデータ通信が可能になりますが、臼田宇宙空間観測所のアンテナが使えず、海外の地上局を使わせてもらいます。そのテストを行いました。それから「アップリンク・トランスファー」という技術のテストです。地球は自転していますから、リュウグウに着いた「はやぶさ2」と24時間通信するには、海外の局から日本の局に通信を切り替えなくてはなりません。これまでは切り替えに時

間がかかっていましたが、この技術を使うと連続して通信を行うことができます。

また、「はやぶさ2」のミッションに必要なくても、挑戦できることはどんどんやろうと考え、「ソーラーセールモード」という新しい姿勢制御方式をテストしました。太陽の光の力を使って姿勢制御する方式です。私が関わっていた小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」で編み出した技術を、「はやぶさ2」のような運用が複雑な探査機に使うためにずっと技術開発をしてきました。それを軌道上で試して非常にうまくいきました。これを使うと、「はやぶさ」で問題になったリアクションホイールも温存できるし、姿勢制御用のスラスタの燃料も節約できます。今回のミッションにも間接的な貢献ができる技術です。

自動・自律システムで ピンポイントのタッチダウンに挑戦

── 第3期のイオンエンジン運転が終わると、その後はどうなりますか。

津田　イオンエンジンの運転が終了する少し前、5月くらいに1度イオンエンジンを止めて、搭載カメラでリュウグウを撮影します。そのデータを使ってイオンエンジン運転の方向を最終調整します。イオンエンジンの運転を終了するのは、リュウグウの約3000km手前です。次に化学エンジン（スラスタ）を使って小惑星から20kmまで接近します。そこから先は「はやぶさ2」自身がリュウグウの位置を計測しながら近づいていくことになります。

──リュウグウに到着して、まず何をしますか。

津田　最初の2カ月ほどでリュウグウの地形やどのような物質が分布しているかを調べて3次元地図をつくります。その次は、重力を計測することです。探査機をリュウグウに自由落下させて、その落ちるスピードから小惑星の重力を測ります。これらによって、タッチダウンしてサンプルを採取する場所や全部で4台あるローバーをどこに着陸させたらよいかが決まってきます。タッチダウンは最大3回行う予定で、最初のタッチダウンはなるべく早い機会に行いたいと考えています。

── どのようにしてリュウグウのサンプルを採取しますか。

津田　リュウグウの表面から高度1kmまでは地上から指令を出します。しかし、地上からリュウグウまで電波が届くのに20分かかりますから、そこから先は「はやぶさ2」がすべて自分で考えて、狙った場所に着陸します。「はやぶさ」と同じように弾丸を発射してサンプルを採取しますが、採取装置の先は歯車のようになっていて、接地した時に砂とか細かい岩石が引っかかり、効率良くサンプルを採取できる仕掛けになっています。

── 3回目のタッチダウンでは、リュウグウに衝突装置で人工クレーターを作り、そこに降りていきます。ピンポイントのタッチダウンになりますね。

津田　人工クレーターを作るということ自体新しい技術なので、技術的なチャレンジという意味合いもあります。うまくいけば小惑星の内部の新鮮な物質を採取することができます。しかしそのためには人工クレーターにできるだけ近い場所に降りなくてはいけません。誤差数mという難しい降下が必要とされます。

── 地球に帰ってくるのはいつ頃ですか。

津田　2019年11月か12月にリュウグウを出発し2020年11月か12月に地球に帰ってきます。到着1カ月ぐらい前までイオンエンジンで誘導し、最後の1カ月は化学エンジンで精密誘導し、1日以下になった時にカプセルを分離して大気圏に再突入させます。

将来の日本の宇宙技術の 発展に貢献するために

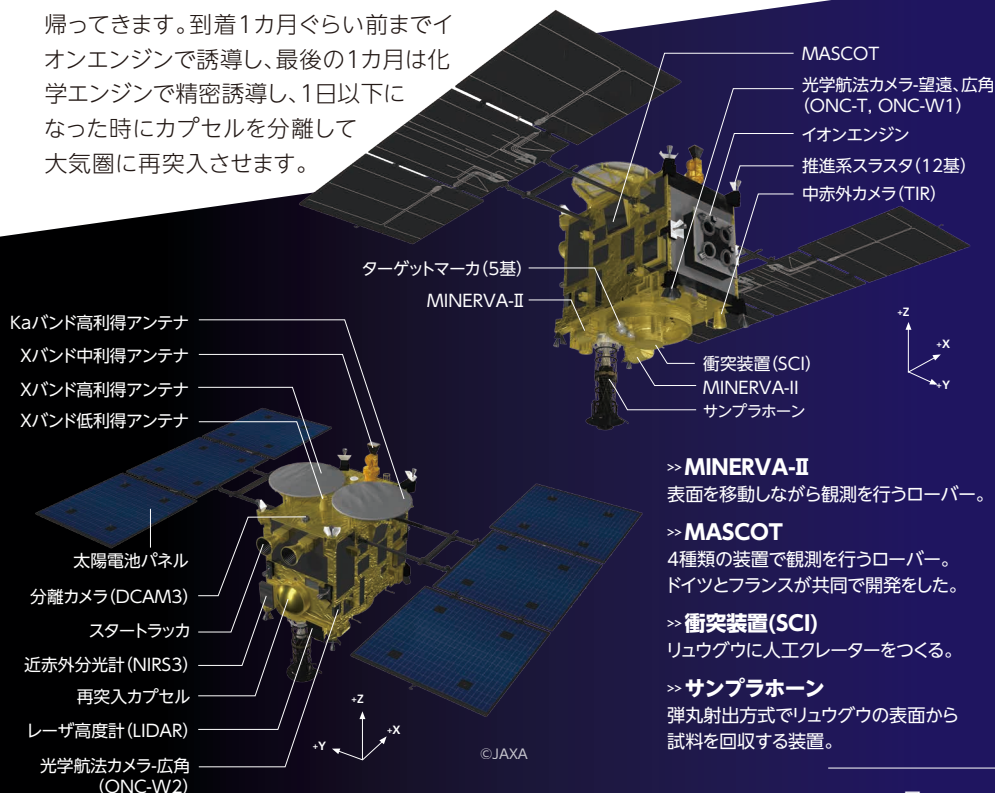
── 小惑星の探査は今、いろいろな意味で世界的に注目されています。「はやぶさ2」ミッションの意義をどうお考えですか。

津田　小惑星のサンプルリターンは「はやぶさ」が世界で最初に行いました。小惑星に行ってサンプルを採取し、地球に戻ってくるという技術は、日本が優位性を持つ技術です。私たちがせっかく切り拓いた世界なので、これをどんどん広げていかなければと思っています。また、小惑星は惑星科学の研究や資源としての利用のほか、最近では地球に衝突する危険性のある小惑星から地球を守るプラネタリー・プロテクションという面でも注目されています。これからは小惑星の軌道を変えたり、破壊したりすることも考えなければいけません。「はやぶさ2」の衝突装置がその意味でも貢献できればと思います。

──軌道上で、今回のミッションに直接関係ない技術にも挑戦しているというお話でした。将来の探査ミッションのために必要ですね。

津田　現在の日本では、惑星探査機を頻繁に打ち上げることは叶いません。しかし、頻度が少ないからといって惑星探査のレベルが低くていいわけではなく、技術を磨いておかなくてはいけません。「はやぶさ2」で得られる貴重な太陽系空間飛行の機会を活かして、新しい技術をどんどん習得していかなければいけないと思うのです。それがあれば次の機会に、より高い挑戦ができると思います。

はやぶさ2

「はやぶさ2」の質量(打ち上げ時)は609kgで「はやぶさ」から約100kg増加しました。「はやぶさ」がパラボラアンテナ1個だったのに対し、「はやぶさ2」はXバンドとKaバンドの平板アンテナ2個に変更。「はやぶさ」の教訓をいかし、化学エンジン(スラスタ)の配管は2系統の独立性を強化している。リアクションホイールも3台から4台に。スタートラッカ(星を見るためのセンサ)も1個から2個になるなど冗長系の万全の対応となっている。ターゲットマーカは全部で5個。3回目のピンポイントタッチダウンでは3個使用する予定。再突入カプセルの中には大気圏再突入時の飛行環境を計測できる機能がついている。

» MINERVA-Ⅱ
表面を移動しながら観測を行うローバー。

» MASCOT
4種類の装置で観測を行うローバー。
ドイツとフランスが共同で開発をした。

» 衝突装置(SCI)
リュウグウに人工クレーターをつくる。

» サンプラホーン
弾丸射出方式でリュウグウの表面から試料を回収する装置。

金井宣茂宇宙飛行士の国際宇宙ステーション（ISS）長期滞在ミッションが始まりました。今回、地上の運用管制チームでは、佐孝大地、中村大地の両フライトディレクタ（FD）がミッションの指揮をとります。“ダブル大地”と呼ばれる両FDに加え、神吉誠志運用管制官、関川知里運用管制官の4名に、金井ミッションと運用管制チームの仕事について聞きました。

取材･文:井上 晋

ISSと地上をつなぐ
金井ミッションを支える運用管制チーム

医師出身の立場を活かして行われる実験の数々

――“ダブル大地”のおふたりが担当FDを務める金井宇宙飛行士の「きぼう」でのミッションがいよいよスタートしました。

佐孝大地FD（以下佐孝）　まず今回、金井さんがISSに滞在中の2018年3月に、筑波宇宙センターで「きぼう」の運用を開始して10周年を迎えます。日本の有人宇宙開発にとって、一つの区切りとなりますので、さらなる飛躍に向けた10周年を金井さんとともに迎えたいと思っています。

中村大地FD（以下中村）　新世代宇宙飛行士と呼ばれる油井亀美也さん、大西卓哉さんがミッションを終え、金井さんは、アンカーの役割を担います。今回は宇宙飛行士、運用管制チームが積み重ねた経験が最大限に活かされたミッションになると思います。

佐孝　金井さんは、古川聡さん以来、日本人としては久しぶりの医師出身の宇宙飛行士です。医師としての経験を活かし、宇宙での生活や身体の変化などを分かりやすく伝えてくれることを期待しています。

――FDとして、具体的にどのようなかたちで金井さんをサポートしていくのでしょうか。

中村　金井さんはJAXAのミッション以外にも、ISSの宇宙飛行士としてNASAやESAなど、フライトエンジニアとしてさまざまな仕事を行います。そのなかでも、例えば、船外活動のような作業は一歩間違えば宇宙飛行士の生命を脅かす可能性があり、通常よりもストレスがかかります。JAXA以外の作業にも目を配り、先行してスケジュールをうまく調整することで、精神的にも物理的にもできるだけ負担を減らせるようにサポートしたいですね。

佐孝　私は、金井さんの訓練に帯同したのですが、インストラクタとのコミュニケーションを通じて金井さんが訓練でどのようにインストラクタから教わり、身につけているかが分かりましたので、それを踏まえて、実際に軌道上で作業をするときに金井さんが一番分かりやすいように情報を伝えるよう心がけています。また、私自身もともと実験運用チームに所属していたので、その強みを活かしつつ、各部署からの情報については大事なところは瞬時に拾い上げて全体をコントロールしていきたいと考えています。

中村　私はFDになる前は、「きぼう」の熱・環境・実験支援系を担当するFLATという運用管制チームに所属していました。管制官はスペシャリストの集まりですから、各専門分野の担当に任せることは任せ、まとめる、優先順位を付ける、判断するところはする、というメリハリがインクリメント担当FDとしての仕事として大切だと思います。何か問題が起こったときには、FDとして各チームと協働しつつ、方向性を決めていくことはもちろんですが、より円滑にタスクを進めることができるように心がけています。

佐孝　今回のミッションを通じ全体をマネジメントする上で、お互いを理解し、考えている

「J-FLIGHT」
JAXA Flight Director バッジ

第54次/55次長期滞在ミッション ロゴマーク

©JAXA

撮影:八幡宏　撮影:八幡宏　撮影:八幡宏

左から

かみよし せいじ
神吉 誠志
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士・運用管制ユニット
主任研究開発員

なかむら だいち
中村 大地
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士・運用管制ユニット
研究開発員
JAXAフライトディレクタ（J-FLIGHT）

さこう だいち
佐孝 大地
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士・運用管制ユニット
研究開発員
JAXAフライトディレクタ（J-FLIGHT）

せきがわ ちさと
関川 知里
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士・運用管制ユニット
研究開発員

©JAXA/NASA

「きぼう」のJ-SSODから放出される「BIRDS」プロジェクトの超小型衛星（CubeSatタイプ）。写真は2017年7月の「BRAC Onnesha」（バングラデシュ）、「Nigeria Edusat1」（ナイジェリア）放出時。

©JAXA/NASA

「きぼう」船内実験室でのInt-Ball（JEM自律移動型船内カメラ）。ISSでのInt-Ballの映像はインターネット「Int-Ballだより」で公開中。[Int-BallだよりVol.6]
http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/171017_int_ball.html

「きぼう」船内実験室のモックアップで訓練を行う金井宣茂宇宙飛行士。運用管制チームとの連携でミッションに挑む。 ©JAXA

ことを把握することが欠かせません。そのためにも、長期滞在中のミッションに関連するチームのメンバーや金井さん、NASAをはじめとした各運用管制センターのFDとは、直接話す機会を大切にしたいと思っています。

――今回のミッションでは、どのような実験を行うのですか。

佐孝　「健康長寿のヒントは宇宙にある。」をキーメッセージに、多数の宇宙実験を予定しています。JAXAの得意分野であるタンパク質の結晶生成実験もその一つです。金井さんがサンプルの入ったカートリッジを操作して結晶化を開始させた後で装置にセットし、地上からモニターしながら装置を一定環境に維持します。このほか宇宙飛行士が被験者となって行う医学実験など、健康長寿社会に向けた宇宙医学やライフサイエンス研究などが準備されています。

中村　健康長寿以外に注目していただきたい実験は「Asian Try Zero-G」です。日本を含めたアジア・環太平洋地域の各国の学生や若手科学者/若手エンジニアから公募して提案された物理実験を行います。次世代の人材育成に貢献するなど、国際協力としても重要なミッションです。提案者が運用管制室に来て実験に立ち会うことも検討されています。より多くの若い人に、宇宙や科学への興味を高めてほしいですね。

佐孝　この他、小型衛星放出機構（JEM Small Satellite Orbital Deployer: J-SSOD）による超小型衛星の放出も行う予定です。「きぼう」のエアロックから船外に搬出し、ロボットアームを使って放出します。衛星をエアロックに取り付ける作業は、宇宙飛行士が担当し、「きぼう」エアロックとロボットアームの操作は、筑波の運用管制室で、ロボティクス・構造・機構系を担当するKIBOTTというチームが行います。

――KIBOTTのメンバーである神吉さんは、J-SSODによる衛星放出に関わるわけですね。

神吉誠志管制官（以下神吉）　手順書作成やNASAとの調整、シミュレータを使った検証など、安全に放出するために数カ月かけて準備を進めています。ISSからの超小型衛星の放出は、大型衛星との相乗りで打ち上げる場合と比べて、ロケットの打ち上げ条件（振動や音響など）や打ち上げ時期に左右されることがなく、各国の補給機が利用できるという点で打ち上げ条件が緩和され、輸送機会も多いので、初めて人工衛星を打ち上げるアジアやアフリカの国から参入が増えている状況です。起こりうるあらゆるトラブルを想定して事前に十分な準備をすることで、確実な衛星放出を目指したいと思います。

――関川さんは、金井ミッションでどのようなことを担当しているのですか。

関川知里管制官（以下関川）　私はCANSEIと呼ばれる電気通信系を担うチームです。船内でドローンのように自由に動かすことができ、金井さんの相棒となるカメラ「Int-Ball」の遠隔操作もCANSEIが担当しています。これまで「きぼう」での実験の様子などを撮影する場合は宇宙飛行士がカメラを準備しており、地上にいる研究者などが見たい場所を指定したり、途中でアングルを変えたい場合、宇宙飛行士が実験を中断してセットし直していました。Int-Ballを使うことで、宇宙飛行士に代わって地上の運用管制官が操作できますので、ユーザ要求に柔軟な対応ができるだけでなく、宇宙飛行士の負担を減らすことができます。地上の管制官はちょっと大変ですが（笑）、がんばります!

FDを目指して訓練開始!

―― 神吉さんも、関川さんも、将来はFDを目指していると伺いました。

神吉　はい、2017年11月からFD訓練を始めています。KIBOTTでは担当するミッションの達成が最も大事ですが、FDでは並行して進められる複数のミッションを達成させるためにより広い視野を持つことが求められます。チームとしてのパフォーマンスを最大限に発揮できるよう普段からチームメンバーとコミュニケーションを図ることを心掛けていきたいですね。

関川　私もCANSEIの一員として、電力や通信の管理といったベースになる部分でミッションに貢献しつつ、ダブル大地のおふたりをはじめとする先輩をお手本にしながら、FDになるために学んでいければと思っています。まずはCANSEIの仲間と一緒に、しっかり運用を支えることが最優先です。その中で、Int-Ballの操作も含め、金井さんのミッションを思いやるようなお手伝いをしながら、自分の将来を見据える機会にもしたいと思います。

神吉　私も金井さんミッションの機会を活かして先輩FDから多くのことを学び、次世代のFDとして良いバトンを受け継げるよう努めたいと思います。

中村　金井さんはかなり忙しくなるとは思いますが、ぜひミッションを楽しんでほしいですね。そういう舞台を整えるのもFDの役目だと思っています。

佐孝　金井さんが油井さん、大西さんから新世代宇宙飛行士としてのタスキを受け継いできたように、私たちも先輩FDからさまざまな経験と運用技術を受け継いできました。金井さんがゴールしたら、次は野口宇宙飛行士にタスキをつなぐことになります。私たちも神吉さん、関川さんへよいバトンが渡せるようにしっかりとがんばりたいですね。

野口聡一宇宙飛行士　3回目の宇宙へ!

野口聡一宇宙飛行士が、2019年終わり頃から約半年間、長期滞在搭乗員としてISSに滞在することが決定しました。野口宇宙飛行士は、2005年7月、ミッションスペシャリストとしてスペースシャトルの飛行再開ミッションに搭乗。2009年12月、JAXA宇宙飛行士としてはじめてソユーズ宇宙船に搭乗し、フライトエンジニアとしてISSに161日間滞在しており、今回が3回目の宇宙飛行となります。

©JAXA

日本の独自技術で ピンポイントの月着陸を実現する

―小型月着陸実証機「SLIM」の開発に迫る―

将来の月惑星探査で重要な技術の一つが
重力天体への精度の高い着陸です。
SLIM(Smart Lander for Investigating Moon)は、
このピンポイント着陸技術を実証するための
小型月着陸実証機です。
日本独自の技術の獲得を目指して
開発の進むSLIMについて
坂井真一郎プロジェクトマネージャに聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

©JAXA

誤差100mのピンポイント着陸を目指す

──SLIM(小型月着陸実証機)の目指すところは何ですか。

坂井　SLIMが目的としているものは大きく二つあります。第1は、月などの重力のある天体にピンポイント着陸する技術を実証することです。具体的には、狙ったところに100mぐらいの誤差で着陸することを目指しています。第2は、そのピンポイント着陸技術の実証をなるべく小型で軽量な探査機で実現することです。

──重力天体への着陸は、技術的にどこが難しいのでしょうか。

坂井　重力に対抗しながら降りていかなくてはならないので、いかにエンジンに大きな推力を発生させ、それを制御するかが大事になります。エンジンの細かい制御はパルス燃焼という方式で行います。メインエンジンをずっと噴き続けるのではなく、少し噴いては止め、また少し噴いて止めということをして推力の調整をするのです。効率すなわち燃費が良く、大推力で、さらにパルス燃焼が可能というエンジンはそれほどありません。私たちは今、金星探査機「あかつき」のエンジンをベースにそのようなエンジンを開発しています。

──推進剤を入れるタンクにはどんな工夫をしていますか。

坂井　SLIM全体の重量の中で、推進剤はかなりの部分を占めることになります。小型軽量に作ることがSLIMの大きな目的になっていますので、タンクそのものを軽量化するために、「一体型タンク」という方式をとります。燃料と酸化剤のタンクを別々にするのではなく、一つの大きなタンクの中で部屋が分かれていて、そこに燃料と酸化剤が入るという方式を取ろうとしています。

──海外の探査機も含め、一体型タンクというのは、これまでなかったのではないですか。

坂井　多分、はじめての試みではないかと思います。

──月面への着地はどのような方式で行いますか。

坂井　アポロ宇宙船やこれまで月に着陸した探査機では関節型の脚が採用されていますが、SLIMでは衝撃を吸収する材料を使った新しい方式の脚を開発しています。空隙の多いアルミ材で脚をつくり、着地の際にそれが変形することで、着地の衝撃を吸収し、安全に着陸するという方法です。脚をスポンジのような金属で作ることによって軽量化を図ることができます。

──これも世界で初の試みですね。そのような部材をどうやって作るのでしょうか。

坂井　3Dプリンターを使って三次元造形を

します。この方法の利点は、衝撃を吸収するためにどのくらいの空隙率にしたらよいかを実験しながら作ることができることです。

——月面といっても、砂（レゴリス）に覆われた平地もあれば、岩石がごろごろしている場所もあります。また、斜面に着陸する必要もあるかもしれませんね。それによって、空隙率や脚の形状は違ってくるのではないですか。

坂井　そのあたりはいろいろなシミュレーションをするという形で調べているところです。

——この方法は将来の大型の探査機、さらに有人の月着陸機などにも応用可能でしょうか。

坂井　可能性はもちろんあると思います。SLIMではいろいろなチャレンジをしていますが、脚もそのうちの一つです。

画像照合技術で自ら着陸地点を判断する

——ピンポイント着陸の方法について伺います。

坂井　探査機を月に着陸させる場合、これまでは地上から探査機の軌道を決定し、降りるタイミングを決めていました。しかし、月を周回する探査機の軌道を地上から正確に知るのには限界があり、高い精度で目的の場所に着陸させることが困難でした。そこでSLIMでは、探査機自体が月面のクレーターを写真に撮り、それを自分の持っているクレーター地図と照合して自分の位置を知り、目的の場所に着陸するという方法をとります。クレーター地図のもととなるのはJAXAの月周回衛星「かぐや」の地形カメラのデータです。また、アメリカのLROという周回衛星のデータも用います。これらの探査機の画像の精度からして、約100mの精度での着陸が可能と考えています。

——自分が撮影した画像から、月面のどこの上を飛んでいるのかを知ることができるわけですね。これは難しい技術なのでしょうか。

坂井　この画像照合という技術自体は、現在、車の自動運転などさまざまな分野で研究が進んでいます。ただし探査機の場合には、地上のシステムと比べて使えるコンピュータの能力が大幅に異なります。限られた計算能力しかない探査機上でこの機能を実現できるアルゴリズムは、私たちが長年研究してきた成果だと思っています。

——そこから先はどうやって、100mの精度で着陸させるのですか。

坂井　重力天体の場合、画像を使って探査機の位置が分かったとしても、地上から指示を出しながら目標点に向かって降下させる時間的余裕はありません。探査機が自律的に判断をして降りて行く必要があります。どのようにメインエンジンを噴いて目標点に着陸するかという制御に関しても、いろいろと新しい技術を使っており、これもSLIMの開発の一つのポイントになっています。

——相模原キャンパスの宇宙探査実験棟に、月や火星表面を模擬した実験フィールドが完成しました。SLIMの着陸実験にこの実験フィールドを使いますか。

坂井　その予定です。環境の安定した屋内の実験フィールドであれだけの規模（18m×22.5m）のものはこれまでありませんでした。どういう模型を落として実験するのがいいのかを検討しているところです。

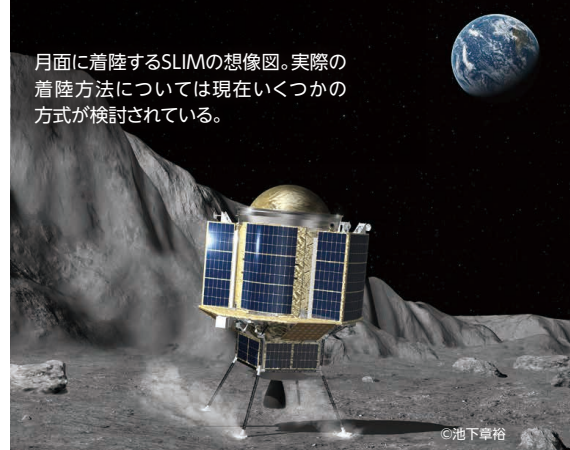
オリジナリティある技術で国際協力に貢献する

——SLIMのチームは皆さん若いですね。チームの雰囲気はどんな感じですか。

坂井　とてもいいのではないかと思います。SLIMは非常にチャレンジングなミッションですが、若い人の場合は、難しい方がやる気が出るのではないかと思っています。技術的な課題がたくさんあるので、皆が一丸になって取り組んでいます。

——JAXAでは以前、「かぐや」の後継機としてSELENE-Bが検討されていました。SLIMにはこうしたレガシーが生かされていますか。

坂井　SELENE-Bは月着陸を目指す大型の探査機によるミッションでしたが、残念ながら実現には至りませんでした。しかし、その提案に含まれていたピンポイント着陸の技術を小型の探査機で実証するのがSLIMです。ピンポイント着陸のコアの技術は、まさにSELENE-Bの頃から始まったものなのです。

月面に着陸するSLIMの想像図。実際の着陸方法については現在いくつかの方式が検討されている。
©池下章裕

——今後の国際協力による月探査ミッションを考えた場合、日本がピンポイント着陸の技術を持つことは、非常に意味があると思いますが、いかがですか。

坂井　その通りだと思います。国際協力といっても、オリジナリティのある技術を持っていないと、海外と渡り合うことはできません。きちんと月に降りられる、しかもピンポイントで着陸できるという実績を持っていることはとても重要ではないでしょうか。

——SLIMがピンポイント着陸に挑戦する意味がそこにあるわけですね。

坂井　はい。宇宙開発においては、ミッションを確実に成功させることが求められますが、一方、失敗しないものばかりをやっていたのでは、イノベーションは起こりません。探査も科学も、常にどこかで挑戦をしていかなければいけません。バランスをとりながら、いかにして挑戦的なことをしていくかが、これから特に大事になるのではないかと思っています。

坂井 真一郎（さかい しんいちろう）
宇宙科学研究所
SLIMプロジェクトマネージャ
宇宙機応用工学研究系准教授
©JAXA

information

2018年2月28日〜3月3日
第2回 国際宇宙探査フォーラム（ISEF2）開催！
産業界向け、若者向けのサイドイベントも！
URL http://www.isef2.jp/jp/

ISS計画のその先へ

月・惑星探査に向けた日本独自の技術

ECLSS Environmental Control and Life Support System

伊藤 剛(いとう つよし)
有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
技術領域主幹

宇宙空間できわめて貴重な水や空気。
その再生技術は国際宇宙ステーション(ISS)
での活動はもちろん、月惑星有人探査ミッション
実現のカギとなる最重要課題の一つです。
いま、長期間・安定的に利用できる
日本独自のシステムの開発が、
急ピッチで進められています。
有人宇宙技術センターの
伊藤剛技術領域主幹に話を聞きました。

取材・文:山村 紳一郎(サイエンスライター)

革新的な水再生システムを独自技術で開発

――ISSなど有人宇宙活動での水や空気の再生技術とはどのようなものですか?

伊藤　エアコンディショナーをはじめとした環境制御と、生活に不可欠な水や空気(酸素)を作るしくみを、まとめて環境制御・生命維持システム(ECLSS: Environmental Control and Life Support System)と呼びます。生命維持には大きく二つの柱があり、使用した水や飛行士の体から排出される水の再生と、呼気として排気される二酸化炭素(CO_2)を処理する空気の再生です。ISSの日本実験棟「きぼう」では環境制御は実現していますが、生命維持はISS本体に依存しています。日本の独自技術で従来より高度なシステムを新たに開発し、導入しようというのが今の取り組みです。

――新しいシステムはどんな方向を目指しているのですか?

伊藤　現在ISSで運用されているのは、水や酸素を少しずつ地上から運搬・補給するオープンECLSSで、当面の課題は再生率を高めて補給量を減らすことです。将来的な究極の目標は必要な水や空気を再生によって完全に循環・供給するクローズドECLSSで、私たちの取り組みもこれを目指しています。2018～19年頃までには地上レベルでの技術として完成させるべく、研究開発を進めています。

――開発中のシステムの技術的な特徴はどのような点でしょうか?

伊藤　水再生システムでの第一の特徴は、日本で開発した高温高圧電気分解方式です。これは回収した尿に、250℃の高温と7メガパスカル(地表大気圧の約70倍)の高圧をかけたうえで特殊な電極で電気を通します。含まれている有機成分を分解して取りのぞき、飲用可能なレベルにまで浄化する技術です。現在実証を進めているシステムでは、再生率85%以上という高効率と、従来の約4分の1のコンパクト化や消費電力約2分の1の省エネルギー性を実現しています。

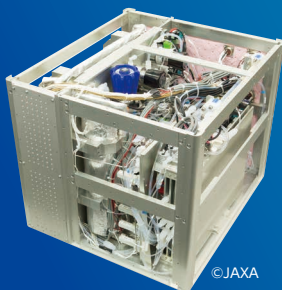
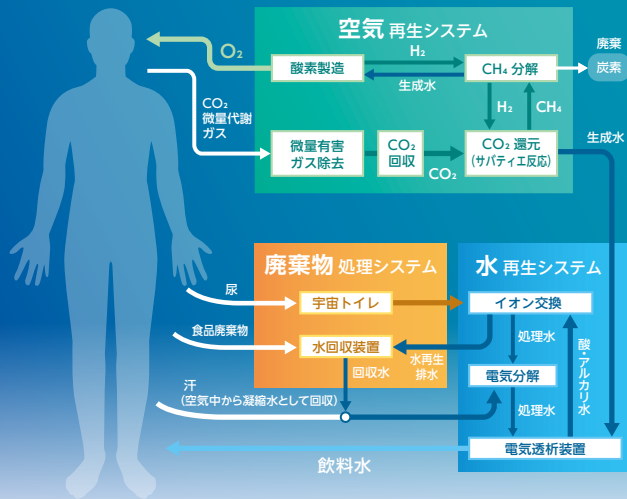
フリーズドライでさらに高効率化

――活動空間も電力も貴重な宇宙では、小ささや消費電力の低さも重要ですね。

伊藤　さらにこのシステムは、消耗品がなくメンテナンスフリーである点も特徴です。一種のフィルターであるイオン交換樹脂膜も併用していますが、この再生もシステム内で自己完結する処理方式としているんです。このシステムは2018年から軌道上での実証を予定しています。

――ここまできたポイントはどこにあるといえるでしょうか。

伊藤　難しかったのは電極の材質や構造

開発中の次世代水再生システムはISSで使用している現行のNASAの装置の1/4のサイズに小型化する。写真は実証モデル。

で、たいへん苦労しました。実現できたのは、2011年に共同研究契約を締結してパートナーシップを組んだ栗田工業さんの技術力によるところが大きいです。これからは、民間の企業の力をお借りしていくことが重要だと思います。

――当面の課題はありますか?

伊藤　さらにいま再生率90%を目指していますが、それでも10%の汚水が残ります。この汚水からもさらに水を取り出すことで、システム全体での効率98%達成を狙っています。技術としては、低温真空中で水分だけを水蒸気として回収するフリーズドライで、インスタント味噌汁などで食品から水分を取りのぞくのに使われる方法です。

――水分を取りのぞくのではなく回収して利用する。発想の転換ですね。いつ頃実用化されるのでしょうか。

伊藤　この1～2年で技術として確立し、試験機が完成しました。2018年度か2019年度には、現実的にシステムに組み込めるような実用装置として仕上げていきたいと考えています。

CO_2から水と酸素を作り出す

――生命維持システムのもう一つの柱である空気再生はどのようなしくみでしょう?

伊藤　呼気として出るCO_2を取りのぞくことが基本ですが、問題はそのCO_2の処理です。現在私たちが取り組んでいるのは、CO_2に水素(H_2)を結合させて水とメタン(CH_4)を生成するサバティエ反応を用いたシステムです。反応で生成した水を電気分解して酸素を生成し、一方の水素をまた反応に利用するわけです。

――排出CO_2から水と酸素を作り、メタンが残るのですね。

伊藤　サバティエ反応はISSで実証が進んでいますが、実際には水素が足りないので処理しきれないCO_2を排出します。含まれる酸素も捨てざるを得ないわけです。そこで、生成したメタンを炭素と水素に分解し、この水素も反応に使う方式を開発しています。CO_2吸着回収からサバティエ反応、水の電気分解、メタンの分解といった処理全部を行い、完全にCO_2を捨てずに酸素を再生するシステムになります。

――技術的なポイントはどこにあるのでしょうか?

伊藤　サバティエ反応には大きなエネルギーが必要なのですが、適切な触媒で高効率化できます。例えばNASAの取り組みでは反応温度は600℃ほどですが、いま日本ではこれを約200℃まで下げる試みを行っています。またメタン分解も通常では1000℃以上の高温が必要ですが、やはり触媒により約500℃で反応させる方法を開発しています。日本のお家芸ともいえる高度な触媒技術で、高効率の空気再生システムを実現できる。非常に難しい課題ではありますが、ようやく実用化に近づいてきたといえます。

水がふんだんに使える環境を作る

――将来的にどのような形で使われる可能性がありますか?

伊藤　直近の展望として、2022～2023年頃からの建設開始が想定されている月周回軌道上の宇宙ステーションへのECLSS提供があります。環境制御・生命維持は有人での宇宙活動の根幹ですから、国際共同の宇宙開発に日本が大きく貢献する新しい機会です。コンパクト性や省エネルギー性、消耗品の少なさやメンテナンス性の良さ、さらに多くの工業製品で勝ち得ているメイド・イン・ジャパンの高い信頼性をセールスポイントとして、強くアピールしていきたいと思います。

――将来の有人火星ミッションなどでもキー技術となりますね。地上での水再生などにも応用可能でしょうか?

伊藤　宇宙で必要とされる、尿を再生して飲み水にするような高度な水再生が地上で必要になるケースはまれですが、災害時など極限状況での活用はあり得るかもしれません。今後、技術開発が進んでコスト低減が進めば、この技術が貢献できる局面が増えてくる可能性はあります。

――最後に、夢をお聞かせ下さい。

伊藤　現在の宇宙生活では水の使用制限が非常に厳しいですが、私どもが試みている処理が完全にできれば、食べ物に含まれる水が人間を通じて回収される分だけ水が増えます。このような技術によって、水がふんだんに使える宇宙生活環境を作るのが夢です。将来に実現する宇宙観光旅行では、重要なことだと思います。また、使いづらいといわれる宇宙ステーションのトイレも快適にしたいです。無重量状態のトイレには地上での介護のための排泄処理技術が参考になるかもしれません。トイレ掃除の手間が減らせられれば宇宙飛行士の活動時間が増やせ、ミッションの成果につながるでしょう。水・空気再生からトイレまでの総合的な「次世代ECLSS」が、宇宙活動推進の大きな力になると考えています。

現在のISSでは宇宙飛行士の貴重な作業時間を割いてトイレのメンテナンスを行わなくてならない。

©JAXA/NASA

SDGs達成に向けて JAXAが果たす役割とは

期待される JAXA全体での取り組み

小野田勝美（以下 小野田）　「SDGs（持続可能な開発目標）」について、日本でもメディアで取り上げられ、各企業の取り組みについても紹介されるようになってきました。今日は、SDGs達成に向け、JAXAによる貢献の可能性についてお話を伺いたいと思います。まず「SDGs」とは何かについて教えていただけますでしょうか。

沖 大幹（以下 沖）　2015年9月に開かれた国連総会の「持続可能な開発のためのサミット」で、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択されました。SDGsとは、その中で示された17の目標と169のターゲットから成る行動指針です。2030年に私たちはどのような社会に住みたいと思っているのか、その実現に向けて国際社会は何に取り組むべきかについて包括的に話し合われ、SDGsには、基本的にそのすべてが取り込まれています。すべての人にとって“wellbeing（よりよく生きること）”が増進するためには、貧困、食料供給、健康など、多くの解決すべき問題があります。そのためにすべきことを、さまざまな分野の切り口を示して、それぞれの人が自分の得意分野から取り組めるようにしたものがSDGsだと思っていただければよいと思います。

小野田　JAXAでは日本のSDGs実施方針に則り、3つのプロジェクトを登録しています。「だいち2号」（ALOS-2）などを用いた森林の把握、衛星全球降水マップ（GSMaP）を用いた洪水予測、そして「しきさい」（GCOM-C）などによる大気汚染の観測です。JAXAには宇宙ステーションや探査技術などがあります。宇宙教育活動も実施しており、たくさんの女性も働いています。そうした中で、宇宙活動によってSDGsに貢献できることがまだあるのではないかと感じています。

沖　私は、政府だけではなく企業にもSDGsに積極的に取り組んでほしいと思っています。国と民間の中間に位置するJAXAもそうです。利益の一部を社会に還元するものと捉えがちなCSR（Corporate Social Responsibility:企業の社会的責任）と異なり、SDGsは経営企画を担う部署が「企業の本流」として取り組むビジネスのヒントです。その意味で、JAXAでも、SDGsに組織全体の本業として取り組んでいただきたいのです。「20年後にはJAXAはこういう活動で社会を良くしています」という目標を設定し、そのためにSDGsを使うべきなのです。JAXAの事業を他の分野で活かせないか、あるいは宇宙空間の有効利用、平和利用を一歩推し進めて、それが人類社会の発展、幸福の追求にどのように貢献できるのかを考えていただくのがいいと思います。

小野田　確かに「JAXAの事業は、こういう部分（例えば森林保護や防災）で役立っています」と、個別の分野に収めてしまうと、世界の人が集まって決めたことの本質が見失われてしまうのではないかという感じがしますね。

沖　その意味でJAXAは、ロケットのユーザーを増やすだけではなく、人間が宇宙に行くこと、宇宙探査が人類にとってどのような価値があるのかを、もっと深く追究してそのアイディアを広く共有していただいたほうがいいかもしれません。つまり、CSRを超えた、CSV（Value のV）ということです。ご飯を食べることも健康も大事だけれど、知的な満足感を得ることも人間には欠かせません。「人類が月に行くのはうれしいことだ」「火星を探索したい」「海王星の表面はどうなっているのだろうか」。そういう、新しい価値を創造するための基礎科学の役割

7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに

8 働きがいも 経済成長も

9 産業と技術革新の基盤をつくろう

10 人や国の不平等をなくそう

をもっと押し出し、これこそ追究する価値があると提案するくらいの迫力があっていいのではないでしょうか。

SDGs達成に生かすべきJAXAの強みとは

小野田　国連のお立場から、JAXAにはどのようなことを期待されますか?

沖　公的な立場にあるJAXAが、地球全体を見守ることができるのは大きなアドバンテージです。森林や大気汚染監視にとどまらず、人口の拡大スピードより都市の拡大スピードが大きいことが的確に判断できるのは、人工衛星のおかげです。通信機能もそうです。今や世界で50億から60億の人が何らかの携帯電話を使えるようになっているそうです。こうした情報基盤にどういう情報や知識を流して使ってもらうのかも、SDGsにとって大きな鍵となります。そうした場面にもJAXAの技術やミッションを役立てられないかを、ぜひ考えていただきたいですね。

小野田　JAXAがいろいろな分野でSDGsに取り組んでいるということをきちんと説明すると、どの国の人もすぐに分かってくれるということは、すでに私たちも気づいています。

沖　JAXAがSDGsの技術指標の進捗状況を、責任を持ってモニタリングしますという約束が一つでも二つでもできるとかなり大きな強みになると思います。技術指標に含まれていなくても、衛星を活用してできることを提言するくらいの勢いが欲しいですね。時間がかかるかもしれませんが、続けることによって貢献しているというアピールにはなる。国際的な評価を得ていくことが大事です。

小野田　その点ではJAXAはCOPUOS（国連宇宙空間平和利用委員会）や、GEO（地球観測に関する政府間会合）などとの結びつきがあります。GEOでは、SDGsのどのインディケーター（指標）に地球観測データを用いることができるのか、さらに地球観測データを用いた課題解決の事例をまとめたレポートも出ています。

沖　リソースは限られていますので、戦略も大切です。経営企画的にJAXAとしてこのセンサーによるモニタリングは継続したい。この衛星のミッション継続のためには、この指標のモニタリングをし続けなければならないというのはよい理由づけになります。そしてモニタリングの結果を世界中でどんどん使ってもらうのです。

小野田　この11月にインドで開催された、APRSAF（アジア・太平洋地域宇宙機関会議）でもSDGsについて宇宙機関長が議論しました。また、IAC（国際宇宙会議）で、JAXAがオーガナイズしてSDGsのパネルディスカッションを行ったところ、多くの聴衆も集まり、非常に議論も盛り上がって、JAXAがリードしていると認識してもらえました。

沖　そのモメンタムを失わないように、SDGsのミッションに常に取り組む姿勢を見せ続けることが大事です。

提携しリードし貢献する

小野田　人工衛星で衛星全球降水マップ（GSMaP）を作成して災害対策に取り組んでいることなど、日本の科学技術によるSDGsへの貢献を、国連のSTI（科学技術イノベーション）フォーラムの議長も認めていたという話も伺いました。

沖　途上国は先進国からの投資が欲しい。ただ、資金は限られているので、イノベーションが必要です。例えばJAXAのGSMaPは一つのイノベーションだったと思います。現在、どこでどのくらい雨が降っているかがいつでもどこでも手元のスマホで見ることができる。すごいことだと思いませんか。果敢に挑戦して天下を取りにいこうとすることが大事だと思います。

小野田　それでは具体的な話をすると、SDGsの目標6である、水の分野についてはどのように進めたら良いでしょうか。

沖　そうですね。洪水の情報を提供するだけでなく、ほぼ実時間で得られる水循環情報を農業分野／食料生産と結びつけたり、ダムの操作や堤防作りに活かしたり、氾濫のシミュレーションをするなど、この分野ではまだ世界と勝負できる可能性が高いと思います。

小野田　企業と提携して何か動きを起こしていけるといいですね。最近は宇宙産業への関心が高まっています。

沖　SDGsは、民間企業がビジネスとして世界的な課題解決に取り組むことを歓迎しています。宇宙の民間利用によって収益を上げることも、持続可能な宇宙の平和利用に繋がるという発想です。森林伐採についてもそうです。10、20年後に森林減少は止まる可能性があると私は思っています。それをいかにモニタリングして情報を世界中に発信していくか。そのためには自分たちがアクティブなプレーヤーになることです。JAXAにはぜひSDGsをリードしていく存在になってほしいと思います。そして、もちろんSDGsの16番目にpeaceが、17番目にglobal partnershipとあるように、世界中の人間・社会と地球環境全体を考えていくことが大切です。

小野田　これから将来のJAXAの活動目標や計画を定めていこうとする中で、SDGsに取り組んでいく必要性がよくわかりました。国連とも協力して、ぜひそうした方向性を打ち出していきたいと思います。今日はどうもありがとうございました。

塗料で空気抵抗を減らしたい

Flight Investigation of skiN-friction reducing Eco-coating

FINEの挑戦

〈表面摩擦抵抗低減コーティング技術の飛行実証〉

栗田 充（くりた みつる）
航空技術部門
次世代航空イノベーションハブ
航空機システム研究チーム
主任研究開発員

航空機の表面に働く空気抵抗は、燃費に大きな影響を与えています。JAXAでは、燃費向上技術として、空気の摩擦による抵抗を減らす塗装型リブレットを開発。飛行実証試験、FINE（表面摩擦抵抗低減コーティング技術の飛行実証）を行って、その有効性を確認しました。担当した栗田充主任研究開発員に聞きました。

取材・文:水野 寛之

発想の源は鮫肌だった!?

燃料費の高騰や環境への配慮などから、旅客機を設計する際には機体の燃費向上が課題となっています。「燃費の良い旅客機は、国際的な市場でも高い競争力を持つことができるのです」と語るのは、次世代航空イノベーションハブ航空機システム研究チームの栗田充主任研究開発員です。各国の機体メーカーや研究機関は、少しでも燃費を向上させるための研究開発を行っています。

燃費を向上させるにはさまざまな方法があり、飛行時の空気抵抗を減らすことも

燃費向上につながります。特に、空気抵抗の中でも大きな割合を占める、機体の表面摩擦抵抗を減らすことができれば、燃費は大きく向上します。そのための一つの方法がリブレットです。リブレットとは、表面に0.1〜0.2mm幅の微細な溝を設けた構造のこと。「サメの皮膚が表面摩擦抵抗を減らすことは、1970年代から知られていました。リブレットは、鮫肌を摸したものなのです」（栗田主任研究開発員）。空気や水の速い流れの中に、鮫肌のような表面に溝をつけた構造があると、速い流れは溝の突起部分にだけ当たるようになって、結果的に表面摩擦抵抗が減るのです。

鮫肌から考えられたリブレットは、ヨーロッパで研究が進められ、リブレットを設けたフィルムを機体全体に貼り付け、燃費の変化を計測する試験が行われました。この試験では、リブレットによる表面摩擦抵抗を5〜7%低減させ、燃料費を約2%削減することができました。2%というと小さい数字のように思えますが、年間2000億円程度の燃料費を払っている航空会社にとっては40億円もの節約になるのです。

▲リブレット塗装した「飛翔」。

◀塗装型リブレットを施工した状態で飛行する実験用航空機「飛翔」の様子。

日本独自の塗装型リブレットを開発

ヨーロッパで行われたフィルム型リブレットによる試験には、いくつかの課題があります。雨や雪などの天候に対する耐性（耐候性）の不足や剥離の可能性（耐久性）の問題などです。実際の航空機に使用するためには、耐候性や耐久性に関して一つ一つ安全基準がクリアできることを証明していかなければなりません。また、フィルムを貼ることで機体の重量が増加すれば、燃費向上の足かせになりますし、フィルムを貼る加工や整備の作業コストも大きくなります。

JAXAでは2011年頃からリブレットの研究を開始し、首都大学東京との共同研究によってフィルムではなく航空機用塗料だけでリブレットを成形する技術を確立しました。栗田主任研究開発員は、「この技術は海外でも見られない、日本独自の技術です」と話します。フィルムではなく塗料のみなので、重量は既存の塗料とほとんど変わりませんし、剥離作業も従来の塗料と変わりません。

このJAXAのリブレット技術を向上させ、実用化を促進させるための実証が「表面摩擦抵抗低減コーティング技術の飛行実証（FINE）」試験なのです。

飛行実証試験で有効性を確認

FINE試験では、2017年4月17日から6月30日にかけて、計6回の飛行を実施しました。JAXAの実験用航空機「飛翔」の一部に塗装型リブレットを塗布。その表面摩擦抵抗を計測するため、リブレット後方にピトーレイクと呼ばれる櫛形の集合型ピトー管を設置しました。また、比較のためにリブレットを形成していない平滑面もピトーレイクで計測を実施しました。「ピトーレイクによって、機体表面の気流の速度分布を知ることができます。リブレットを形成した表面とリブレットのない平滑面の計測結果を比較することで、表面摩擦抵抗の低減率を算出できるのです」（栗田主任研究開発員）

6回の飛行実証試験からほぼ予測と一致する結果が得られ、リブレットの有効性が確認できました。なお、このFINE試験は、複数の大学や塗料メーカー、エアラインなど、多くの協力を得て実施されました。

FINE試験によってリブレットの有効性は確認できましたが、まだ研究課題はいくつも残っています。例えば、リブレットの溝幅によって表面摩擦抵抗の低減度合いが変わるので、もっとも効率の良い溝幅や形状を見つけ出さなければなりません。また、耐久性に関しても、長期間の実証試験が必要になります。耐久性の確認については、エアラインとの連携も模索中で、実際に運用されている航空機の機体表面に塗装型リブレットを施工して、日光や風雨などの天候、塵の付着、清掃時の摩擦などへの耐久性を確認したいと考えています。

「安全性が第一なので、ステップごとに安全性を確認して進めます。最終的にエアラインが『この技術だったらいいよ』と言ってもらえるように仕上げていきたいと思います」（栗田主任研究開発員）

塗装型リブレットの形状が確認できる断面の拡大写真。溝の幅はわずか0.1〜0.2㎜。

©JAXA

宇宙を
職場にする

宇宙環境をきれいにするために
“アストロスケール×JAXA”によるスペースデブリ除去への挑戦

©JAXA

株式会社アストロスケール
クリス・ブラッカビーさん
COO（チーフオペレーティングオフィサー）

人類が宇宙開発に取り組み始めて以来、60年以上にわたり何千にもおよぶ宇宙機（ロケットや人工衛星）が打ち上げられてきた。そして今、これら宇宙機の残骸は、スペースデブリ（宇宙ゴミ）となって人工衛星や国際宇宙ステーション（ISS）を衝突の危機にさらしている。株式会社アストロスケールはJAXAとの共同研究契約を締結、民間会社として世界で初めてスペースデブリの除去に挑む。

取材・文:井上 晋

宇宙利用に深刻な影響をもたらす
スペースデブリを除去するために

2017年9月12日、JAXAは、スペースデブリ除去に取り組む株式会社アストロスケールと共同研究契約を締結しました。元NASAアジア支部代表で、8月に同社COOに就任したクリス・ブラッカビー氏は、同社のチャレンジについて語ります。

「スペースデブリの問題は、日々深刻化しており、多くの議論が重ねられてきましたが、具体的な解決策は見出せていません。弊社の岡田光信CEOは、そこに新たなビジネスの可能性を見出し、アストロスケールを設立しました。私たちはスペースデブリ除去をビジネスとして成功させると同時に、それによって社会的な使命を果たすことを目指しています」

役割を終えたり故障した宇宙機、運用上放出された部品、爆発・衝突事故によって発生した破片など、宇宙空間には1cm以上のスペースデブリが75万個以上あると言われ、今後も増え続けることが予想されています。カーナビ、インターネット、クレジットカード決済、気象情報など、人工衛星が現代社会にもたらす恩恵ははかりしれません。スペースデブリが人工衛星に衝突すれば、日常生活に支障を来す可能性があります。スペースデブリの衝突が連鎖的に起こって宇宙空間の利用ができなくなる「ケスラー・シンドローム」を心配する人もいます。スペースデブリの除去は、宇宙を利用する上で、早急に解決しなければならない課題です。

ブラッカビー氏は、今回の共同研究契約によって、JAXAが同社にもたらす効果に大きな期待を寄せています。

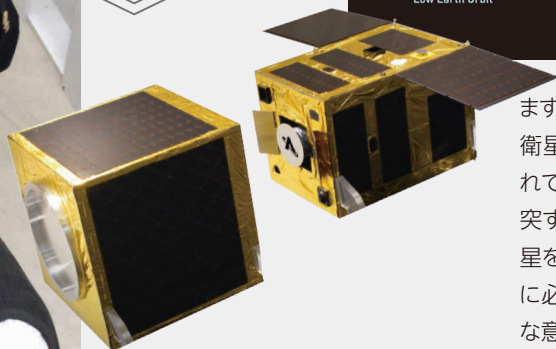
「JAXAには長年にわたってデブリ除去の研究を続けてきた歴史があります。また、つくば、相模原、調布などに試験のための充実した設備もあります。スペースデブリ除去技術の確立を目指す私たちは、JAXAの経験と技術から多くのことを学べると考えています」

＊「IDEA OSG1」は、ロシアのソユーズロケットにより打ち上げられましたが、ロケット側の不具合により、予定されていた軌道に投入されませんでした。

地球を取り巻く軌道上のスペースデブリをわかりやすく視覚化したもの。人類が自ら生み出した宇宙のゴミによって地球は覆われている。

©アストロスケール

アストロスケールが2019年打ち上げを目指す、スペースデブリ除去実証衛星「ELSA-d」の完成予想図。右側のチェイサーが左側のターゲットを磁石によって捕捉し、大気圏に突入する。

©アストロスケール

ELSA-dでの実証試験を経て 目指すは“スペーススイーパーズ”

同社は、2019年に技術実証衛星ELSA-dの打ち上げを目指しています。ELSA-dはEnd of Life Service by ASTROSCALEの略で、最後のdはデモンストレーションを表しており、ELSA-dによって役割を終えた人工衛星を回収するテストが行われる予定です。

「ELSA-dではターゲットとなる衛星と捕獲機(チェイサー)を同時に打ち上げ、磁石を搭載したチェイサーが、離れたところにいるターゲットに接近し、そのドッキング・プレートに磁石を用いることでドッキングします。捕捉したターゲットはELSA-dとともに大気圏に再突入させることで燃え尽き、ミッションは完了します。今回は、①数m離れたターゲットを捕捉する、②10mよりさらに離れたターゲットを視覚センサーや地上からのマッピング技術を用いて捕捉する、③回転させたターゲットを捕捉するという3つのシナリオで、デブリ回収の実証実験を行う予定です」(ブラッカビー氏)

今後、同社ではELSA-dのターゲットへの接近やドッキング時のオペレーションの精度向上を目的とするリサーチやテストなどのために、JAXAの設備を利用したり、JAXAへデータや技術を提供していくことになります。

「ELSA-dは、運用を終えた衛星(End of Life:EOL)の除去技術確立を目的とするものです。これからは数多くの企業が衛星ビジネスに参入してきます。いくつかの企業は軌道上に数百、数千の小型衛星を打ち上げて、全地球をカバーするサービスを行おうとしています。このような「メガコンステレーション」の場合、打ち上げられた衛星の数%～10%は何らかのトラブルで運用できなくなると言われています。それらの衛星を素早く回収しなければ、他の衛星に衝突するなどして問題を引き起こす可能性があります。このような衛星をできるだけ早く除去するためにはELSA-dのような衛星が大量に必要になります。そこにビジネスチャンスがあり、同時に倫理的な意義もあると私たちは考えています」(ブラッカビー氏)

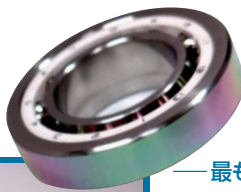
JAXAとの共同契約の締結、そしてELSA-dの打ち上げは、同社にとってスタート地点に過ぎないとブラッカビー氏は語ります。スペースデブリは運用を終えた衛星だけではありません。長期的視野に立った時、すでに軌道上にあるデブリを除去するための「能動的デブリ除去」(Active Debris Removal:ADR)技術の確立が課題となるからです。持続可能な宇宙実現のためには、スペースデブリの除去により衛星の軌道環境をクリーンにすることが欠かせません。

「ADRのためにはさらにテクノロジーを発展させていく必要があります。世界の宇宙研究機関の中でもJAXAは先進的に取り組んでいることは間違いありません。今回のJAXAとの共同研究契約を機に、リサーチなどで協力を進め、JAXAとのパートナーシップをより強めていきたいと思っています。JAXAが打ち上げた衛星が役目を終えた時、私たちの技術でその衛星を回収できる日が来ると信じています。ADRによって宇宙をきれいにする。“スペーススイーパーズ”、宇宙の掃除屋になることが、私たちアストロスケールの目標なのです」(ブラッカビー氏)

株式会社アストロスケール

2015年2月に岡田光信氏によって設立。シンガポールに本社を、R&Dの拠点を日本（東京）に置き、イギリスにも子会社を設立。衛星・宇宙機器などの量産化を実現し、スペースデブリの除去達成を目指す。会社名の「アストロ」は、ギリシア語の語源に遡る「宇宙」を、「スケール」は「はかりの天秤=正義の象徴」を意味し、「宇宙規模で正義と秩序を背負っている会社」として、次世代が持続的に宇宙開発に取り組めるよう社会に貢献する存在でありたいというメッセージが込められている。

ロケットエンジンが作れなくなる?

危機を救った ターボポンプ用軸受(じくうけ)の開発

**このままではロケットが飛ばせない。
一つの小さな部品の製造工程に生じた問題にどう取り組んだのか、
3人の研究開発員に聞きました。**

角銅(かくどう) 洋実(ひろみつ)
研究開発部門第四研究ユニット
研究開発員

高田(たかだ) 仁志(さとし)
研究開発部門第四研究ユニット
研究領域主幹

小島(こじま) 淳(まこと)
研究開発部門第四研究ユニット
主任研究開発員

©JAXA

──ロケットエンジンのターボポンプに使われる軸受が、使えなくなったと聞きました。そもそも軸受とは、どのような部品なのですか。

高田仁志(以下高田)　ロケットエンジンには、推進剤である液体酸素と液体水素を昇圧して燃焼器へ送り込むために、羽根車を毎分数万回転させるターボポンプという装置がついています。この羽根車の軸(シャフト)を支えるのが軸受です。

──軸受には何か特別な技術が使われているのですか?

高田　ロケットエンジンの推進剤は、液体酸素でマイナス180℃、液体水素でマイナス250℃という極低温で、自動車のエンジンやジェットエンジンに使われるような潤滑油は凍ってしまい使えません。このような環境で高速回転させるために、軸受の保持器という部品には、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)というフッ素樹脂が使われていて、軸が回転することで、保持器と球が接触すると、微量のPTFEが削ぎ取られ、球の周りに「移着」して被膜ができます。これが潤滑剤の役割を果たすわけです。

──その保持器が、ロケットエンジン製造に支障を来したと?

高田　PTFEに問題はないのですが、保持器の素材を作る際に用いられてきたペルフルオロオクタン酸(PFOA)という界面活性剤(水にPTFEを分散させる薬品)が、環境を汚染する恐れがあることが分かり、国際的に使用が規制されてしまったのです。そこで、今の保持器の在庫がなくなる前に、PFOAを使わずに保持器を作らなければならなくなり、8年ほど前に研究をスタートさせました。製造工程を変えてしまうと、エンジンを使った性能確認試験をやり直す必要があるため、PFOAに代わる界面活性剤を用いて、できる限り同じ作り方で、同じ性能を有する保持器を作らなければなりませんでした。この原材料を作るメーカーがすごく努力をしてくれて、ギリギリのタイミングで開発することができました。

──最も苦労したのはどのようなことでしょうか。

高田　研究者として、新たな技術の研究に取り組むのはワクワクすることなのですが、新しい保持器がフライトに使えることを保証するには、その試験を行う設備を用意するところから始めなければなりませんでした。関係部署やメーカーとの調整を含め、限られたスケジュールの中でやらなければならず、それが精神的に辛かったですね。

小島淳(以下小島)　軸受のように摩擦に関わる部品は数値解析が難しいため、実地試験を重ねてデータを得ていくしかなく、手間がかかってしまうのです。長年ターボポンプの研究開発をしてきた角田宇宙センターだからこそ、短期間で開発できたといえます。

──この保持器は、H-IIA/H-IIBロケット用のエンジンのほか、H3ロケット用のLE-9エンジンにも使われるのですね。

小島　H-IIA/B用のLE-5B-2については、数年後の打ち上げに向けて今まさに組み立てが始まるロケットに搭載されようとしています。LE-9の液体水素ターボポンプの軸受は、セラミック製の球を使うなど、ステンレス製の球を使うこれまでの軸受とは設計が異なります。従来の軸受とLE-9の軸受を同時並行で開発する必要がありました。

角銅洋実　私は2016年10月に角田宇宙センターに配属され、この試験には途中から参加しました。ターボポンプの基礎的な要素試験ができる環境・人材が角田宇宙センターにはあります。おかげで貴重な経験を積むことができました。

高田　もともと従来の保持器の枯渇対応のために、研究開発に取り組んできましたが、それがLE-9の軸受に昇華でき、H3ロケットの開発面で大きく貢献できたことが今回の最大の成果だと思います。研究室の若手を育てつつ取り組めたのは、宇宙に対する国民の皆さんの思い、プロジェクトチームのスタッフ、メーカーの方をはじめ関係者のご尽力のおかげだと感謝しています。

ロケットエンジンは大小さまざまな部品から成り立っています。実は軸受のような小さい部品にこそ、日本ならではの技術が詰め込まれ、それらが組み合わされてロケットエンジンが成り立っています。打ち上げをご覧になるとき、そのことを思い出していただければうれしいですね。

©JAXA

右が完成後のターボポンプの軸受。写真左から外輪、保持器、内輪、球という四つの部品から成る。

取材・文:井上 晋

JAXA Explore to Realize
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/